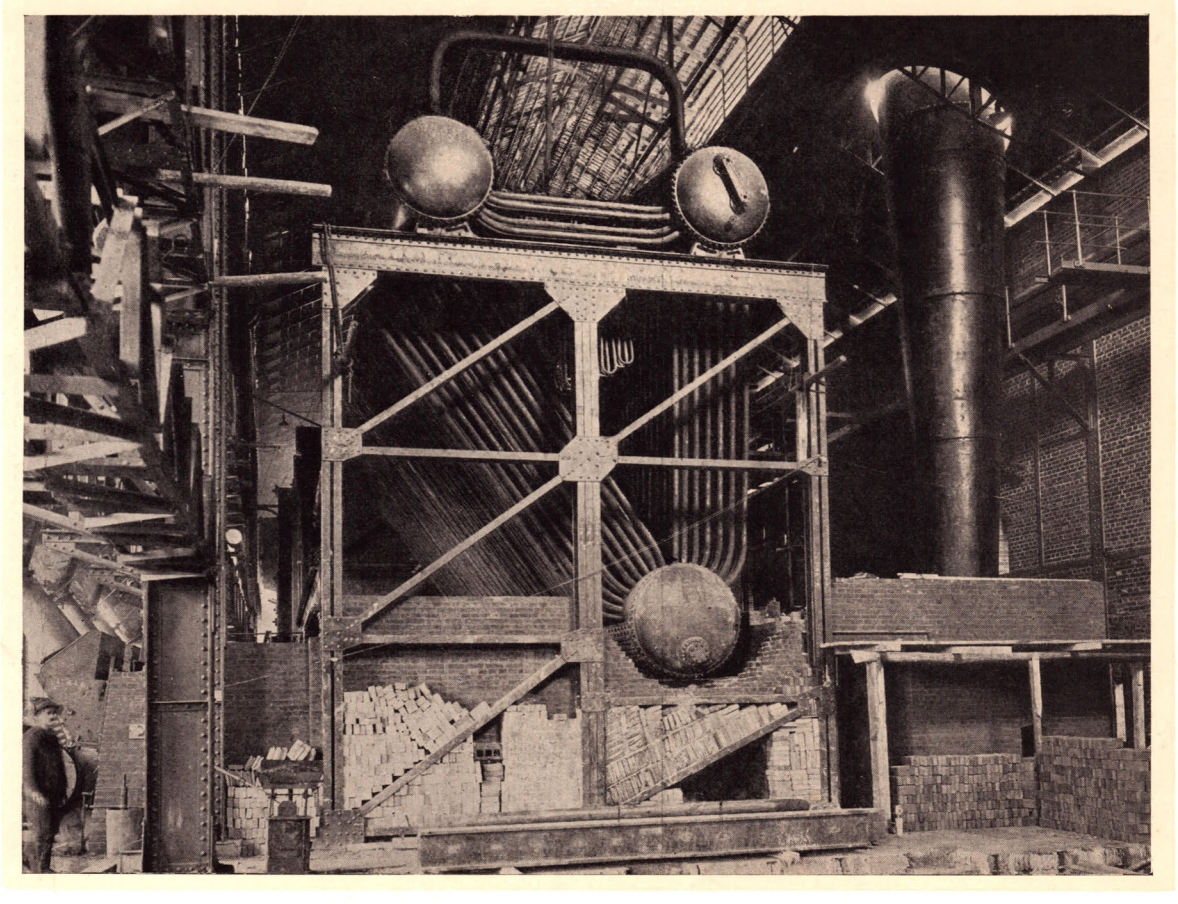
SOCIÉTÉ GÉNÉRALE
DE CONSTRUCTIONS
ÉLECTRIQUES & MÉCANIQUES

GÉNÉRATEURS
DE VAPEUR
MULTITUBULAIRES

ALSTHOM

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE
DE CONSTRUCTIONS
ÉLECTRIQUES & MÉCANIQUES
ALS·THOM

GÉNÉRATEURS DE VAPEUR
MULTITUBULAIRES



Chaudière à trois corps, de 915 m² de surface de chauffe, timbre 21 kg, en cours de montage

GÉNÉRATEURS DE VAPEUR MULTITUBULAIRES

GÉNÉRALITÉS

La supériorité des chaudières aquatubulaires à tubes fortement inclinés ou verticaux, sur les chaudières à tubes horizontaux, ou faiblement inclinés sur l'horizontale, est aujourd'hui universellement reconnue.

Les principales raisons de cette supériorité sont :

1°) La circulation très active de l'eau dans tous les tubes et en particulier l'alimentation parfaite des tubes de coup de feu.

2°) La possibilité d'atteindre, grâce à cette circulation rapide, des taux de vaporisation par m^2 de surface de chauffe très élevés, sans baisse de rendement ni risque de dégradation du matériel, toute surchauffe locale étant évitée.

3°) Le maintien en constant état de propreté de l'intérieur des tubes qui est balayé par un courant rapide.

4°) La réduction des dépôts de suie et cendres sur les parois extérieures des surfaces de chauffe et leur chicanage ; cette propriété impose le choix des chaudières à tubes dits « verticaux » dans le cas de chauffe au charbon pulvérisé.

5°) Le mandrinage direct des tubes dans les collecteurs cylindriques, qui supprime tous les bouchons, autoclaves etc. employés en si grand nombre dans les chaudières à éléments.

La Société Générale de Constructions Electriques et Mécaniques « Alsthom » a hérité de l'expérience et de l'outillage des usines de Belfort de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques, une des premières maisons françaises qui, persuadée de ces avantages, ait compris l'avenir réservé aux chaudières de ce type. Dès 1905, en effet, elle a pu monter et mettre en route sa première chaudière à tubes verticaux.

AVANTAGES PARTICULIERS DES CHAUDIÈRES MULTITUBULAIRES

construites aux usines de Belfort

Indépendamment des avantages généralement reconnus aux chaudières à tubes dits « verticaux », les principes suivants ont guidé l'établissement des chaudières construites aux usines de Belfort.

1°) Circulation et dégagement de la vapeur faciles — Obtention d'un coefficient de transmission élevé

A cet effet, les tubes du premier faisceau (tubes de coup de feu) sont d'assez gros diamètre (75 mm intérieur), les tubes du faisceau arrière sont, tout au moins dans les chaudières à trois collecteurs, d'un diamètre plus petit (63 mm), ce qui améliore la transmission de la chaleur par convection. Le tracé des tubes de communication entre collecteurs supérieurs est étudié de manière à offrir à l'eau et à la vapeur des sections de passage largement suffisantes, pour éviter les dénivellations excessives entre les plans d'eau et ces collecteurs.

2°) Grande accessibilité des différents points du faisceau

A l'intérieur des faisceaux de grande épaisseur on prévoit, en règle générale, des espaces libres communiquant avec l'extérieur par des portes de visite, pour permettre l'accès à tous les tubes et la visite facile des chicanes. Toutes précautions sont prises pour permettre, dans la mesure du possible, de sortir ou de mettre en place chaque tube sans avoir à sacrifier ses voisins.

3°) Suspension des collecteurs indépendamment de la maçonnerie

Dans les très grandes installations, les collecteurs supérieurs sont généralement pendus à un plancher supérieur qui reçoit souvent les économiseurs, cheminées, etc.

Toutefois, il est de nombreux cas où l'exécution d'un plancher fortement chargé et situé à grande hauteur peut donner lieu à des difficultés ; les collecteurs reposent alors sur une solide charpente, constituant, autour de la fumisterie, une cage métallique complète et absolument indépendante des maçonneries, pour lesquelles les jeux de dilatation sont très largement prévus.

4°) Simplicité d'exécution des fumisteries

Celles-ci se réduisent, abstraction faite de la chambre de combustion, à un massif parallélipipédique de forme très simple, sans décrochements ni voûtes compliquées ; en particulier, le plafond au-dessus du surchauffeur, entre les corps supérieurs, est constitué par un plancher métallique, démontable en petits éléments pour la visite et le démontage du surchauffeur.

5°) **Accessibilité du surchauffeur**

Cet organe est évidemment le point le plus délicat du générateur avec les très hautes surchauffes auxquelles on arrive actuellement ; son accessibilité est donc primordiale. A cet effet, les collecteurs dans lesquels sont mandrinés les serpentins sont complètement en dehors du massif, sur le plafond entre les corps supérieurs en un point parfaitement accessible. Ces collecteurs sont divisés en plusieurs tronçons assemblés par brides, ce qui permet après démontage du plancher de sortir facilement un paquet de serpentins ; il est également possible de sortir séparément chaque serpentin.

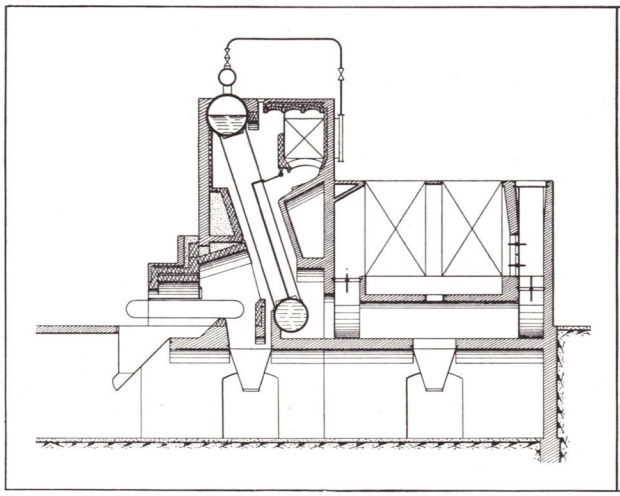
*
* *

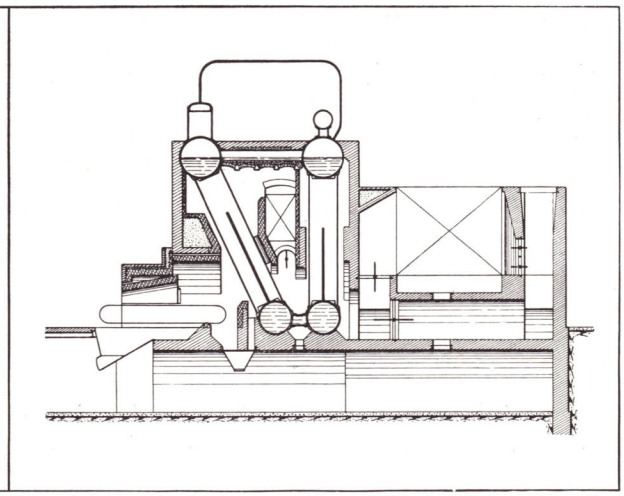
Les gravures rassemblées sur les deux pages ci-après montrent l'évolution des types de chaudières construits depuis 1905 par les usines de Belfort.

Actuellement, pour les chaudières d'une certaine importance (à partir de 6000 kg de vapeur à l'heure) les chaudières multitubulaires à trois collecteurs (fig. 5 et 6) s'imposent. — Les chaudières à deux collecteurs à tubes droits (fig. 3) sont indiquées pour les petites unités à pression modérée, lorsque l'eau d'alimentation est très impure.

Dans la majorité des cas, le type à deux collecteurs et à tubes courbes de la fig. 4 convient fort bien pour les petites unités.

Evolution des types de chaudières construits aux usines de Belfort

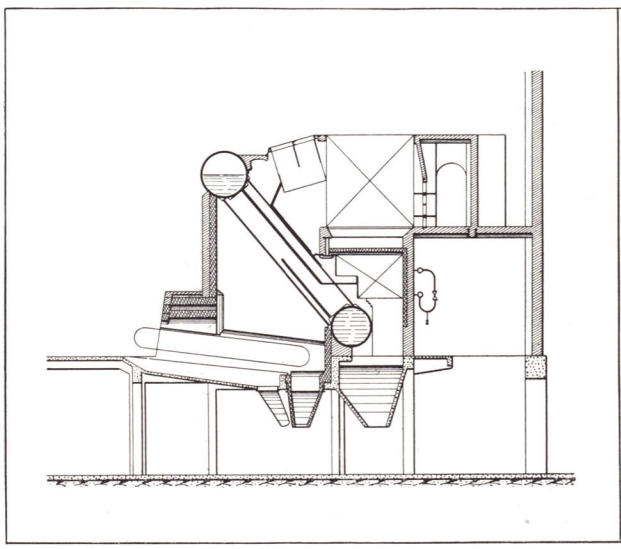


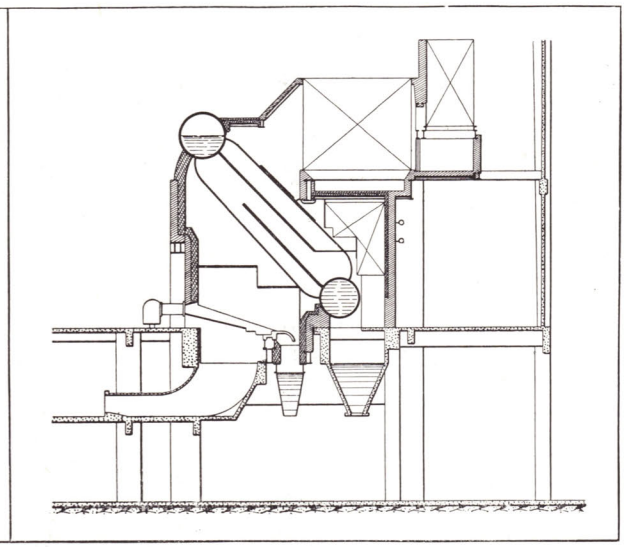


1905 - 1914

Fig. 1. — Chaudière « Garbe », type simple, tubes rectilignes mandrinés dans des plaques tubulaires embouties en « escaliers ».

Fig. 2. — Chaudière « Garbe », type combiné à quatre collecteurs, tubes rectilignes, plaques tubulaires embouties. Remarquer les gros tubes de communication entre les corps.





1919 - 1920

Fig. 3. — Chaudière « Multitubulaire à flux direct », type S, deux collecteurs, tubes rectilignes et plaques embouties. Remarquer la réduction de l'encombrement en hauteur par rapport à la fig. 1 et la disposition très ramassée des accessoires.

Fig. 4. — Chaudière « Multitubulaire à flux direct », type C, deux collecteurs, tubes courbes, plaques tubulaires lisses. Disposition générale très analogue à celle de la fig. 3.

1926

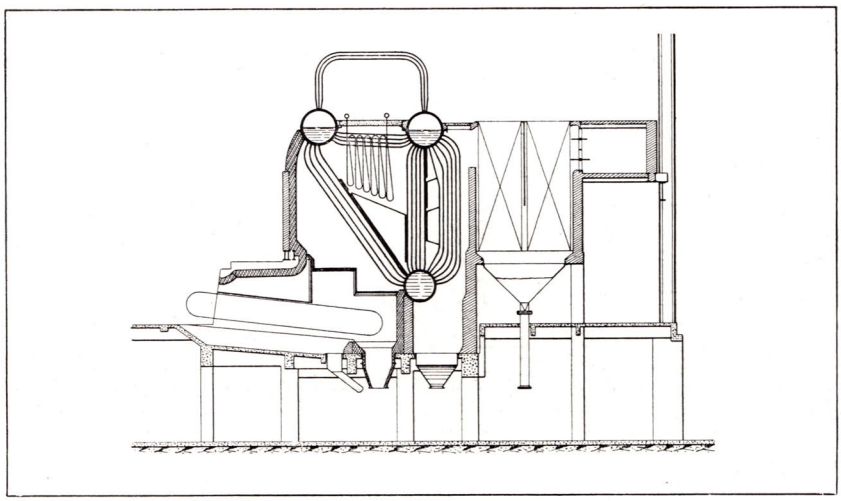


Fig. 5

Chaudière multitubulaire à trois corps, tubes courbes, plaques tubulaires lisses.
Remarquer que ce type se déduit de celui de la fig. 2 par suppression d'un des collecteurs inférieurs et remplacement des gros tubes entre les corps supérieurs par un faisceau de petits tubes, plus souples.

1927

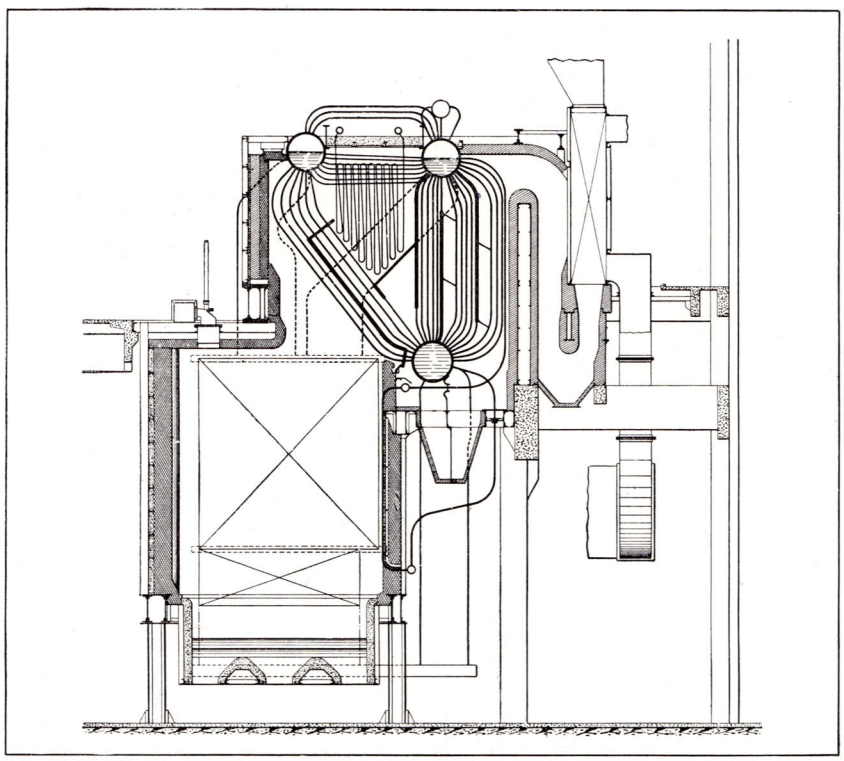


Fig. 6

Chaudière multitubulaire à trois corps, chauffe au charbon pulvérisé et chambre de combustion avec écran d'eau.
(Chaudière de 1800 m², timbre 43 kg, installée à l'usine d'Issy-les-Moulineaux de la C. P. D. E.).

EXÉCUTION DES CHAUDIÈRES

Qualité des matières

Tous les matériaux entrant dans la construction des chaudières et surchauffeurs, et principalement les tôles et les tubes, sont réceptionnés par un organisme officiel, en général par l'Association des Propriétaires d'Appareils à Vapeur, par conséquent avec une indépendance absolue ; de la sorte aucune défaillance n'est tolérée dans la sévérité de cette réception.

Mise en œuvre

Les photographies ci-après donnent une idée exacte des précautions prises dans la construction.

Fig. 7. — **Fonds emboutis à méridienne elliptique**

Remarquer la forme de ces fonds qui supprime toute variation brusque du rayon de courbure et par conséquent de la fatigue du métal. La partie cylindrique des fonds est complètement usinée au tour.

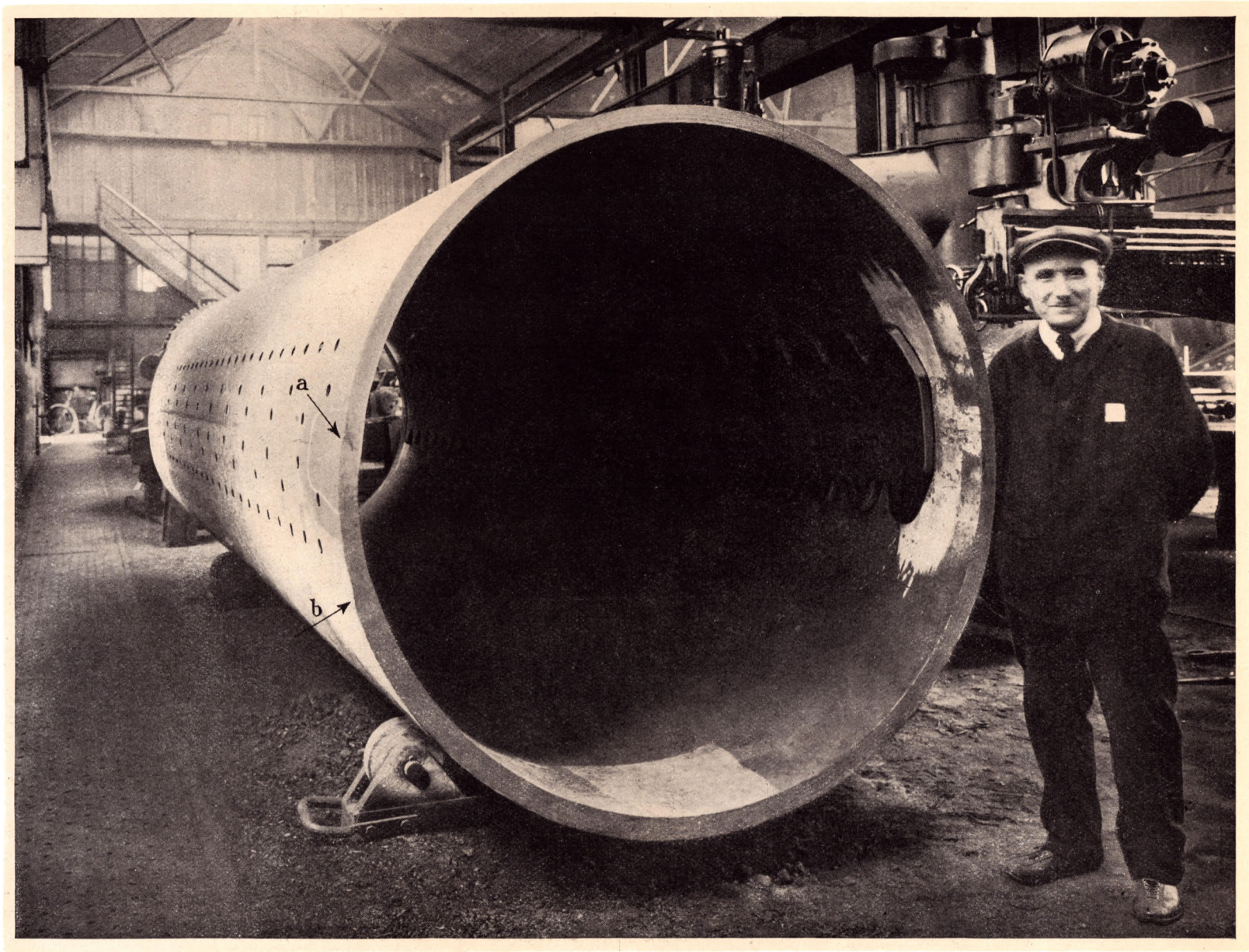


Fig. 8. — **Demi-virole et plaque tubulaire assemblées.**
On distingue en *a* les soudures électriques assurant l'étanchéité de la partie du joint aux extrémités, et, en *b*, la manière dont la plaque tubulaire est rabotée pour réduire son épaisseur à celle de la demi-virole (corps cylindrique de 1600 mm de diamètre pour chaudière à 30 kg, épaisseur de la plaque tubulaire 53 mm).

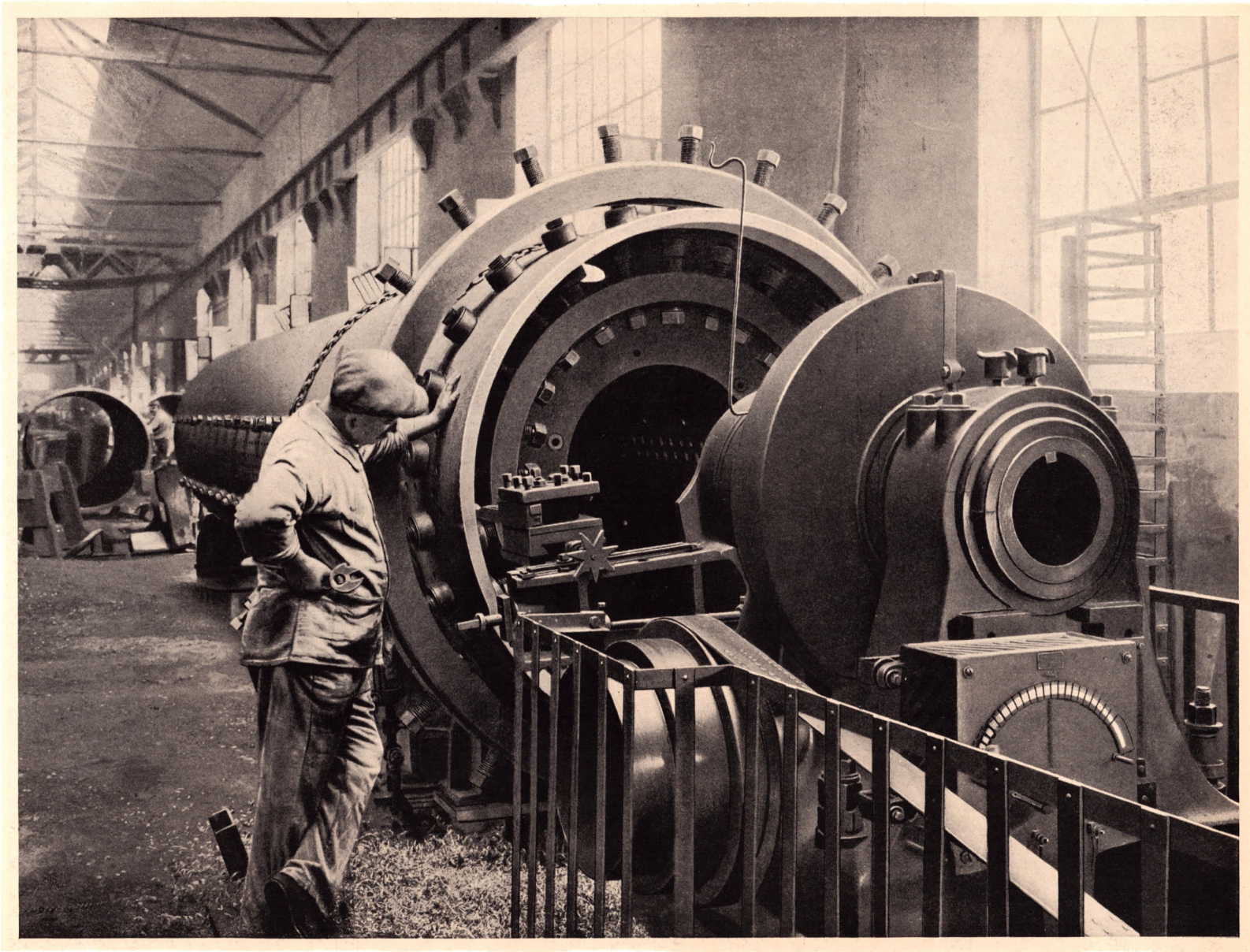


Fig. 9. — **Alésage intérieur de l'extrémité d'un corps cylindrique.**
Cet alésage est effectué sur le corps assemblé, à un diamètre légèrement plus faible que celui de la partie cylindrique du fond correspondant qui est mis en place après chauffe locale de l'extrémité du corps.

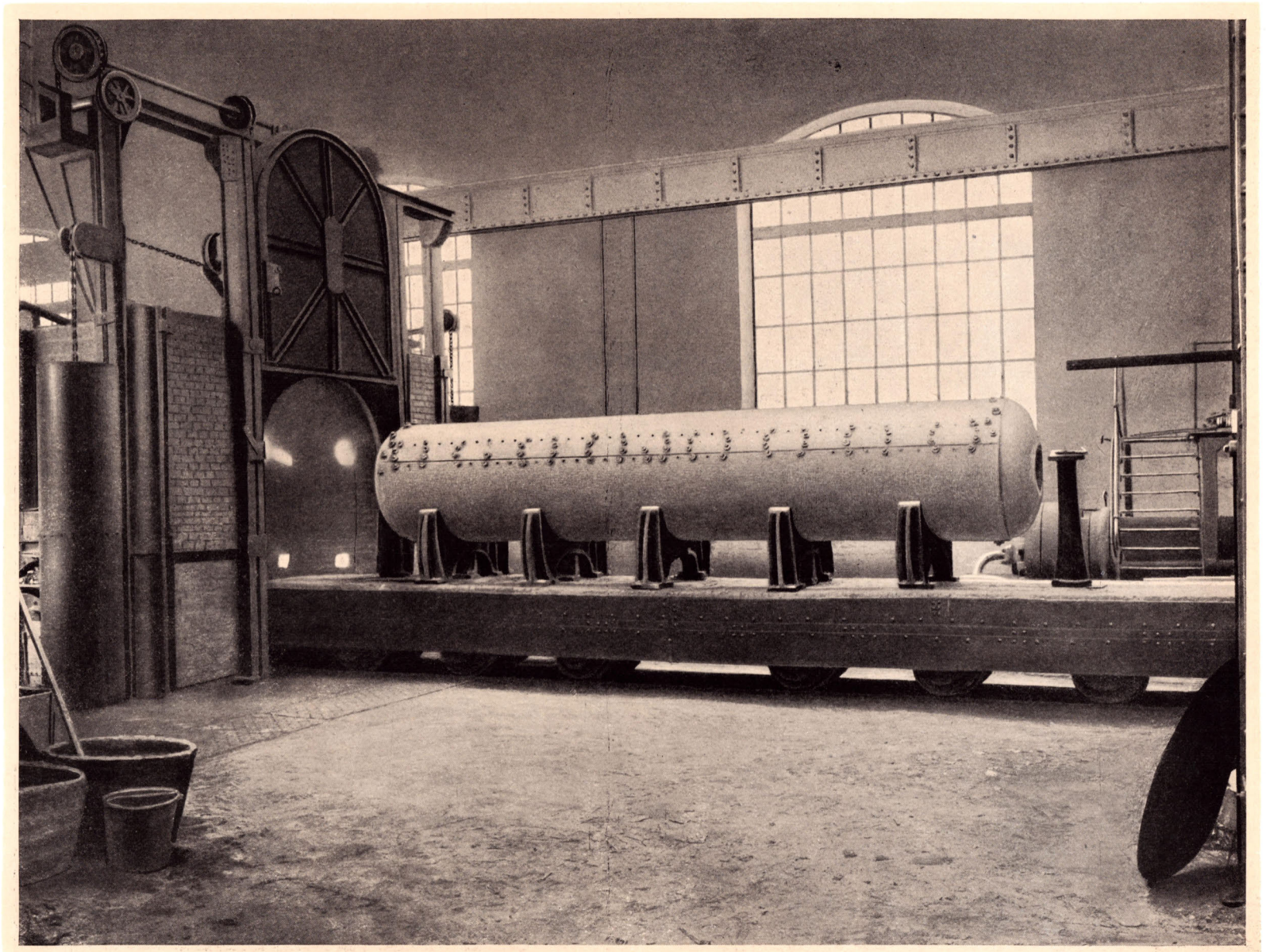


Fig. 10. — **Corps cylindrique sortant du four à recuire.**
Ce recuit a lieu après assemblage de toutes les parties du corps, qui est armaturé entièrement pour éviter toute déformation.

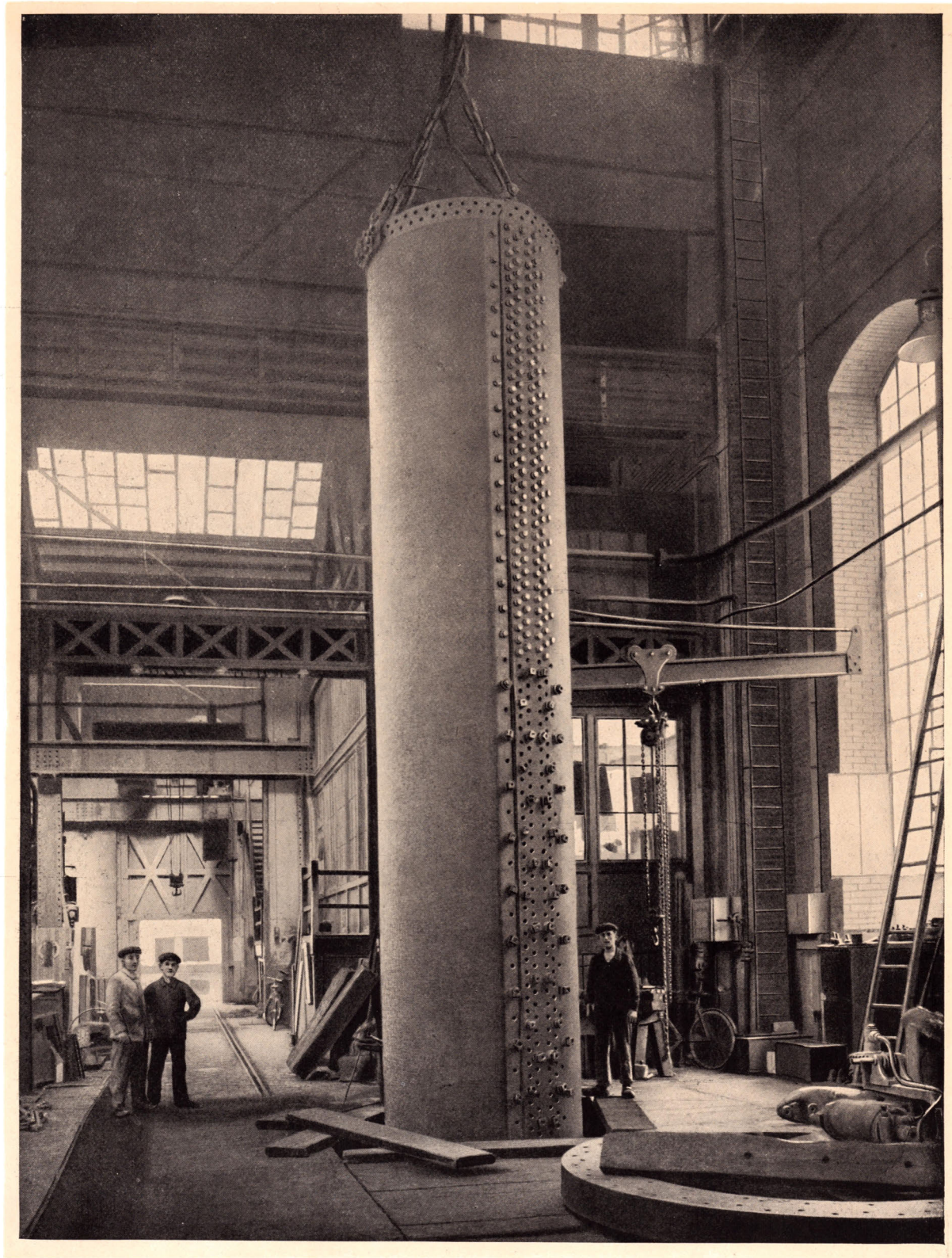


Fig. 11. — **Corps de chaudière à haute pression sur la riveuse hydraulique verticale.**
Remarquer la forme trapézoïdale des têtes de rivet facilitant le matage.

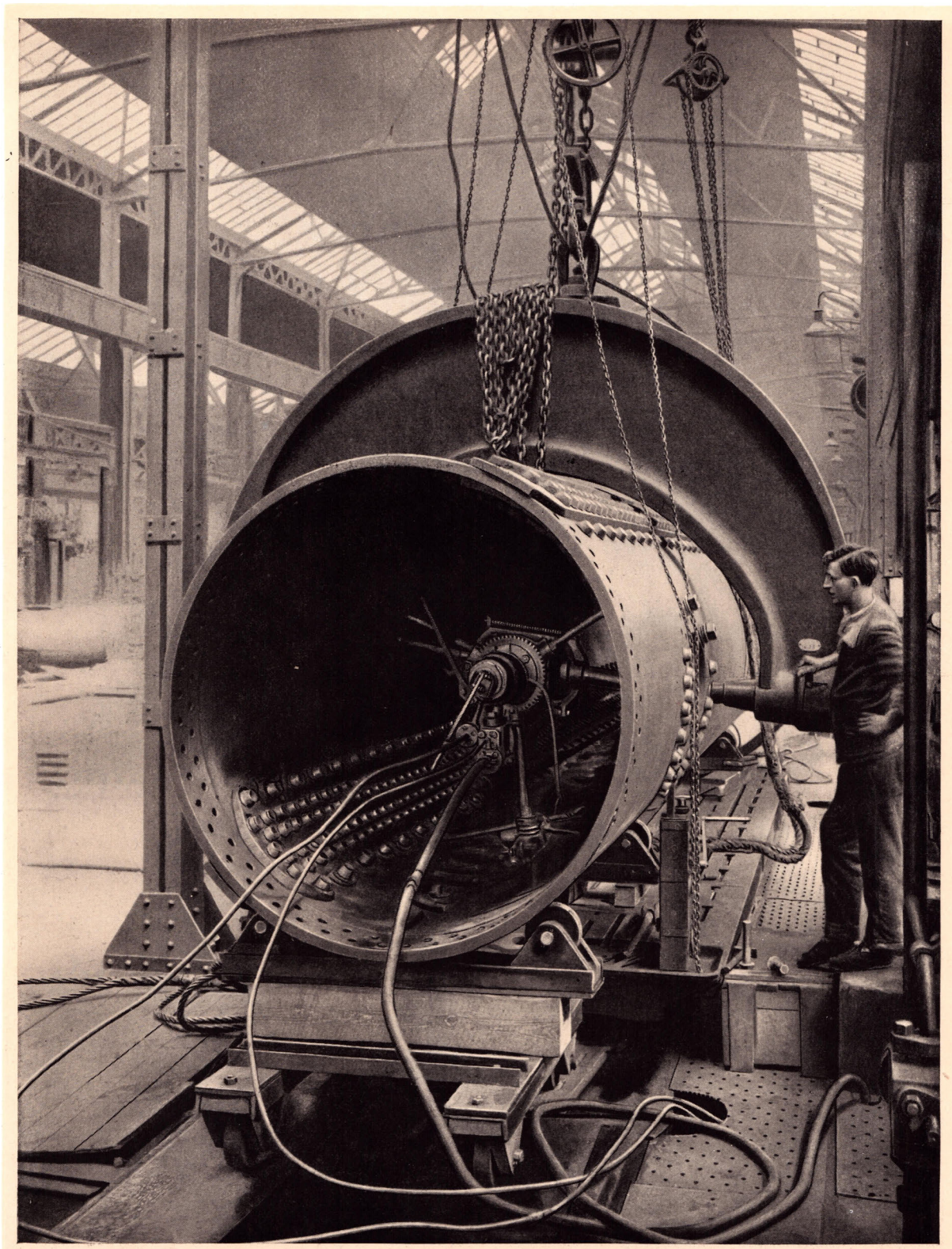


Fig. 12. — **Rivure hydraulique des parties inaccessibles à la riveuse verticale, au moyen de la riveuse démontable.** La partie intérieure de l'appareil est démontable en éléments assez petits pour être introduits par un des trous d'homme.

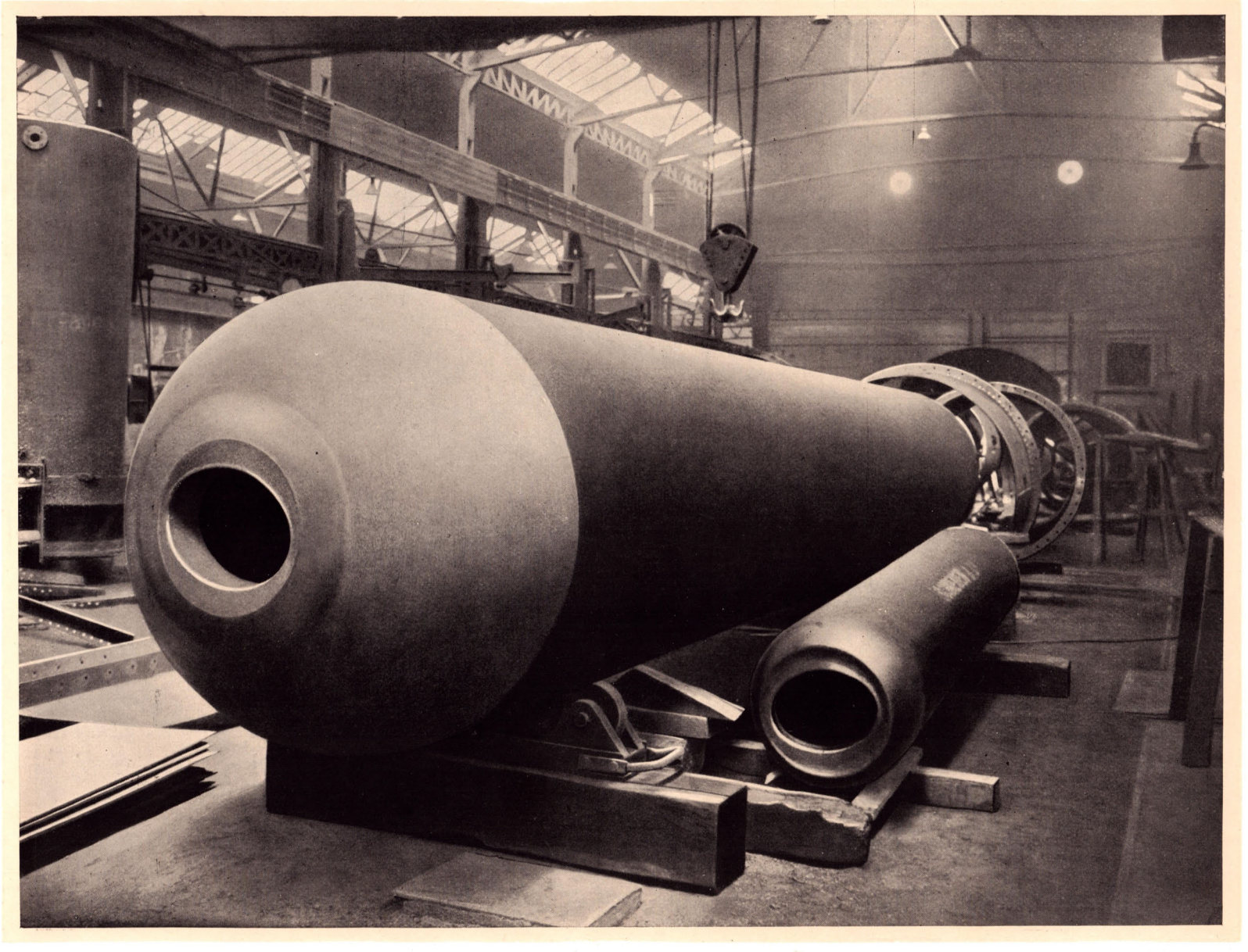


Fig. 13. — Réservoirs monoblocs forgés pour une chaudière de 1 800 m², timbre 43 kg.

QUELQUES

INSTALLATIONS DE CHAUDIÈRES

RÉALISÉES

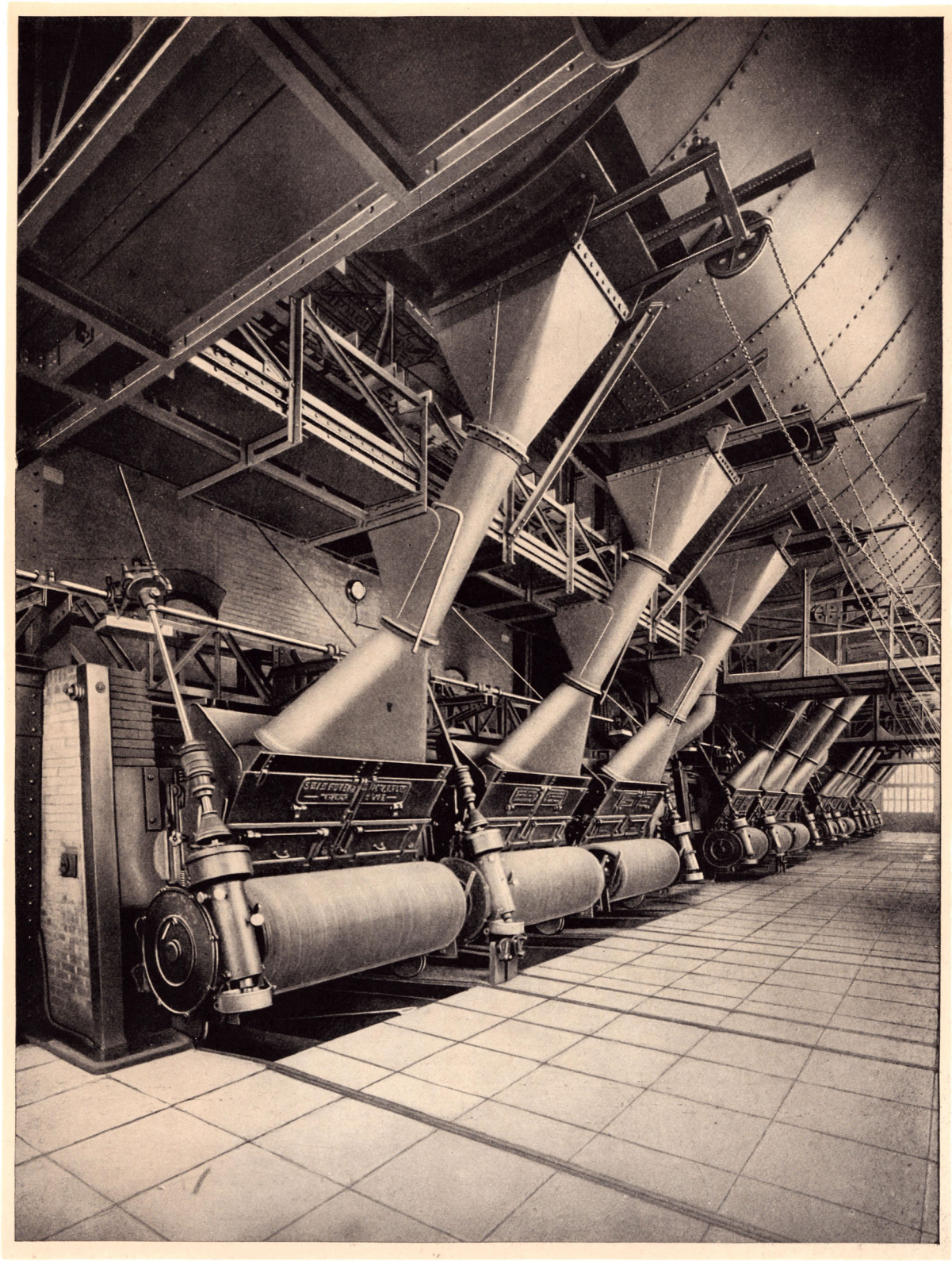


Fig. 14. — Vue partielle de la batterie de huit chaudières de 915 m² de surface de chauffe, timbre 21 kg, installée au Puits Simon des Houillères de Petite-Rosselle.

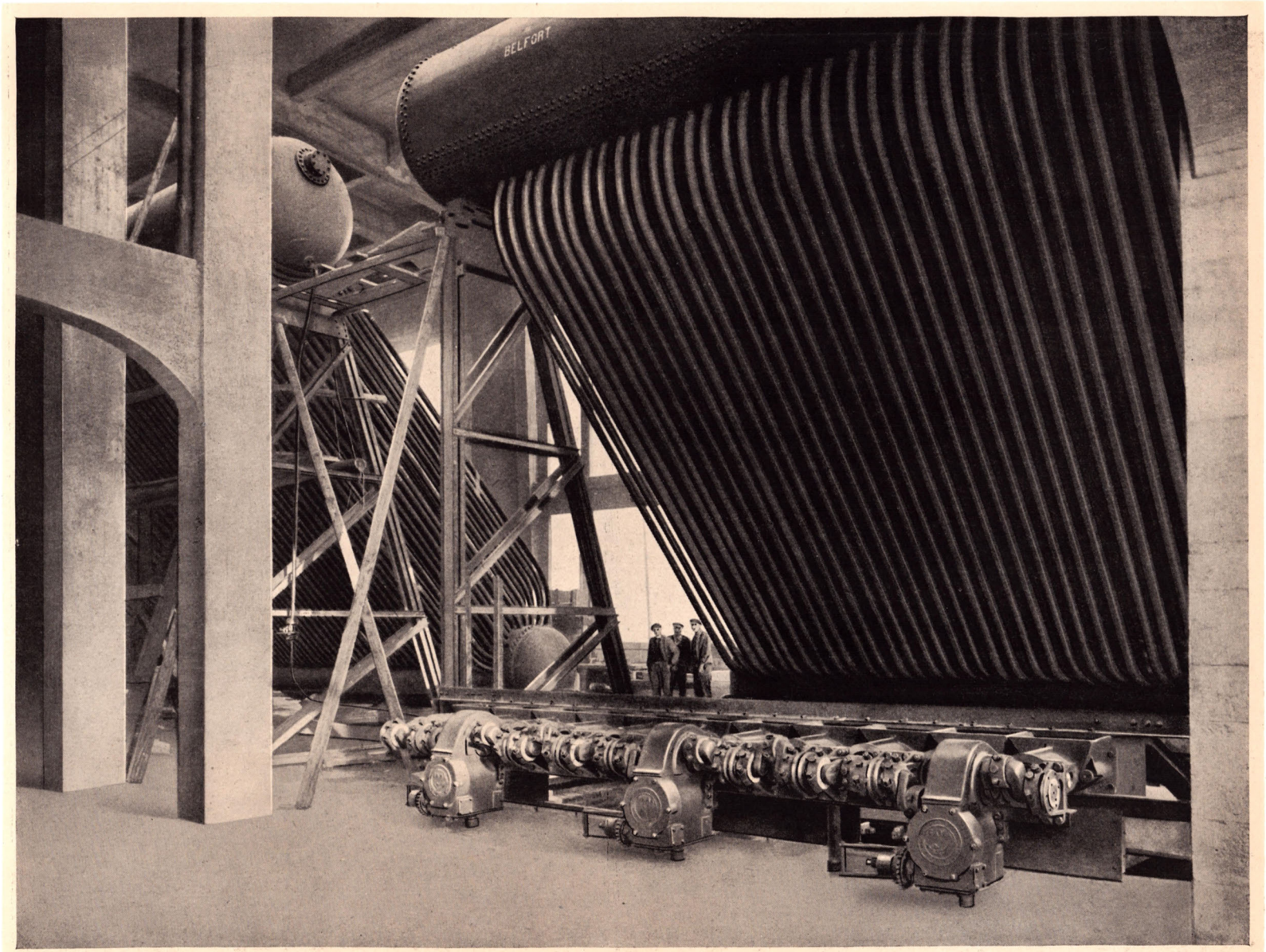


Fig. 15. — Chaudières de 550 m² de surface de chauffe, timbre 18 kg, faisant partie d'une batterie de 16 générateurs installée à la Compagnie des Mines de Courrières. (Chaudières à deux collecteurs).

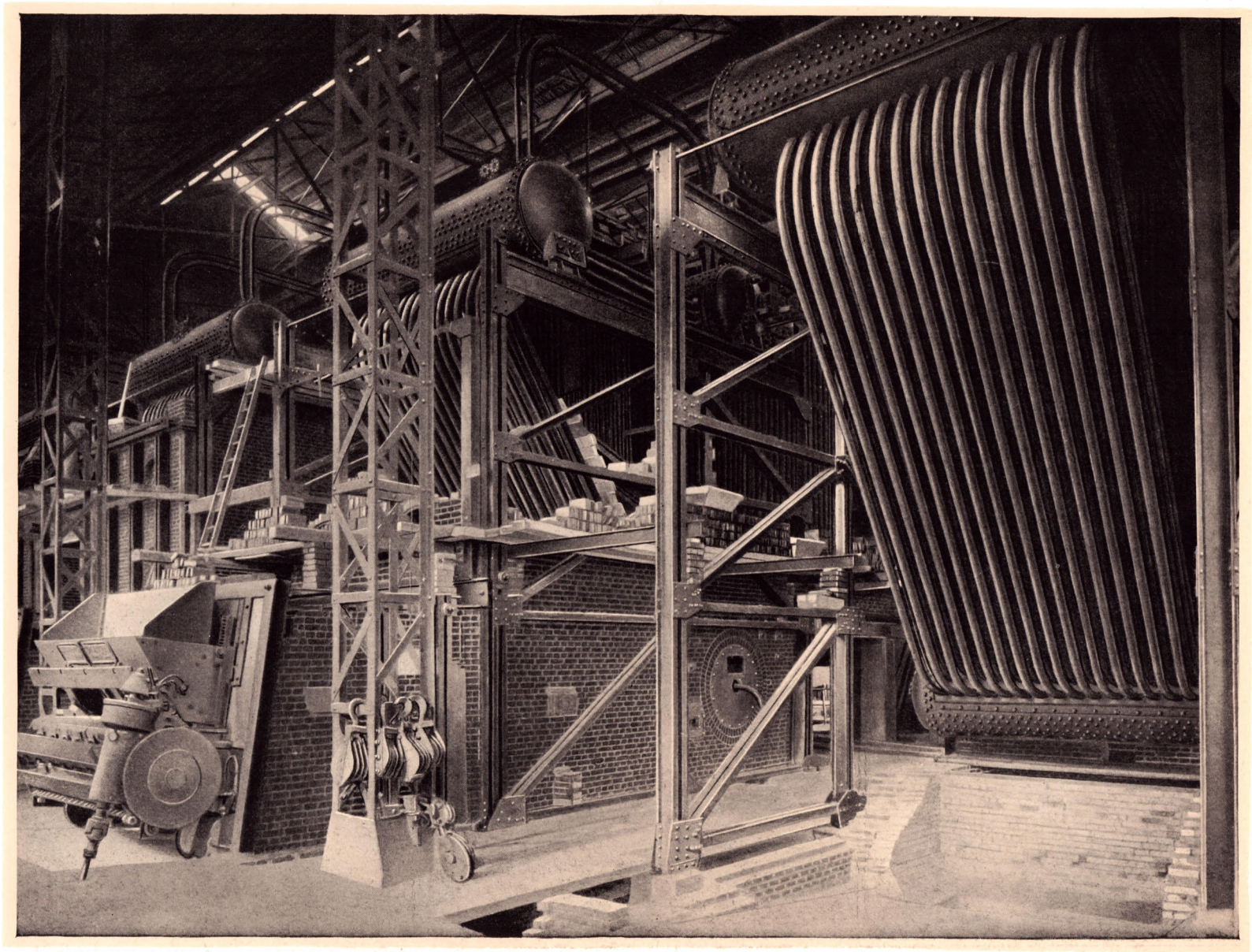


Fig. 16. — Batterie de 5 générateurs de 293 m², timbrés à 35 kg, en montage à l'usine de Facture (Gironde) de la Société « La Cellulose du Pin ».
Remarquer sur les générateurs des premiers plans l'importance des rivures et les rivets à tête tronconique.

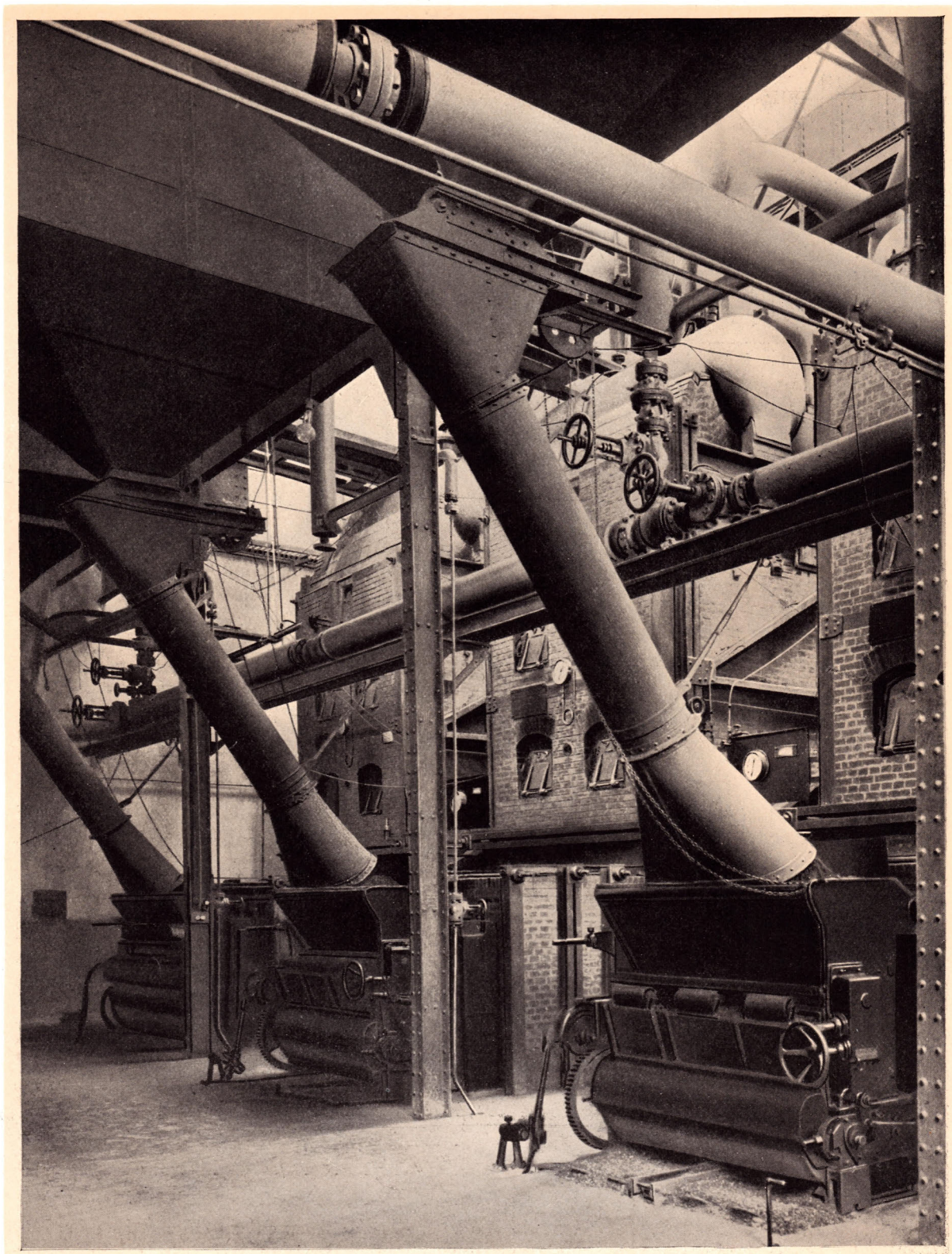


Fig. 17. — Batterie de trois générateurs de 196 m², timbre 30 kg, installée à la filature de MM. Schwob frères, à Héricourt.

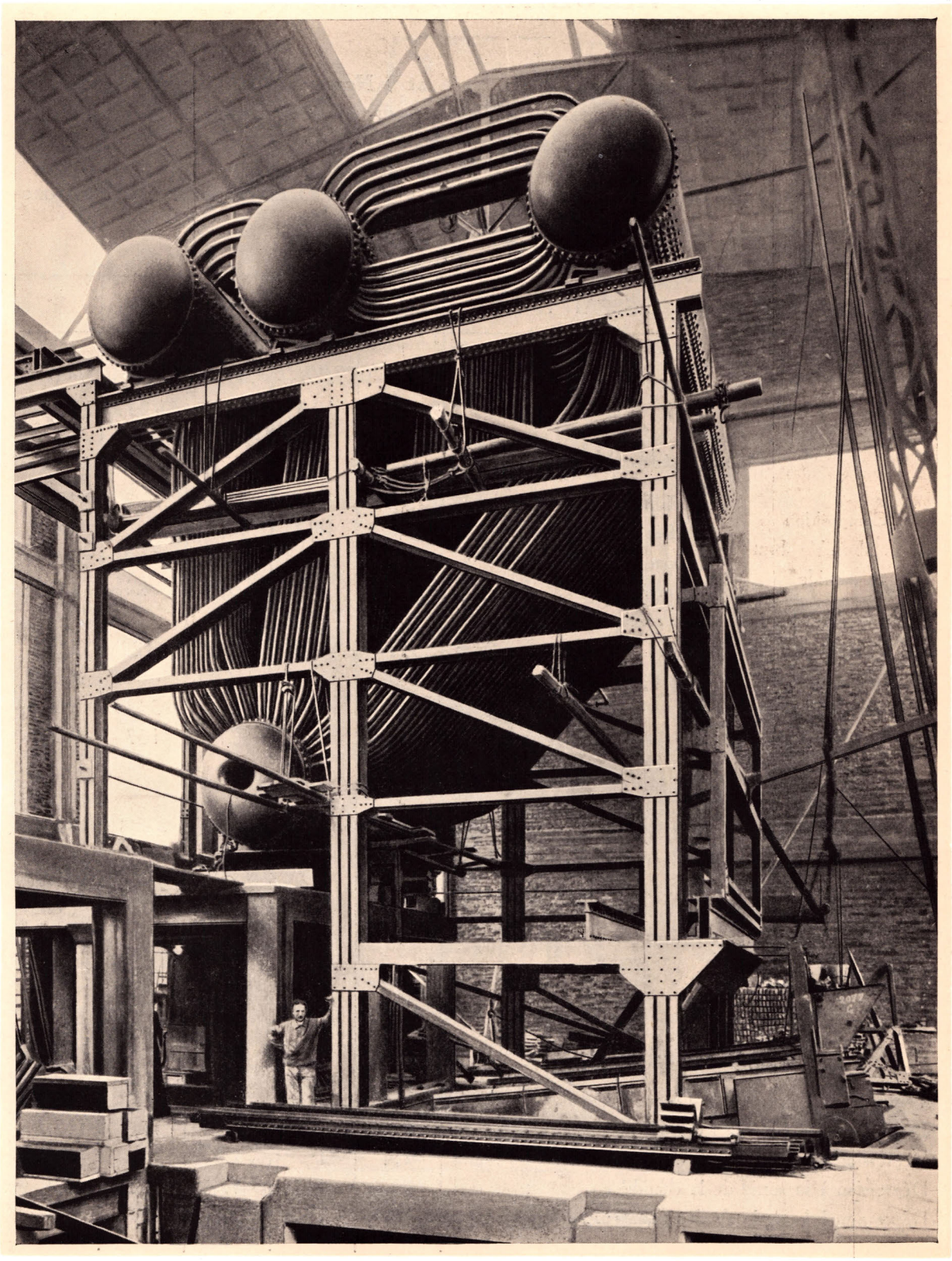


Fig. 18. — Un des générateurs de 700 m², timbre 30 kg, livrés aux Aciéries réunies de Burbach-Eich-Dudelange, division de Burbach (Sarre), en cours de montage (générateur à 4 collecteurs de 1600 mm de diamètre extérieur).

RÉSULTATS D'ESSAIS

1)° **Essais à allures variées effectués les 4 et 5 Novembre 1927, par l'Association Alsacienne des Propriétaires d'Appareils à Vapeur, sur un générateur de 915 m², timbré à 21 kg, aux Houillères de Petite-Rosselle.**

Chauffe par grille mécanique triple « S.A.F.A. » de 35,25 m² de surface totale, économiseur à tubes en fonte verticaux, de 750 m² de surface de chauffe.

NUMÉRO DE L'ESSAI	1	2	3	4	5
Date de l'essai	28/10/26	29/10/26	4/11/26	6/11/26	5/11/26
Durée	13 h 55 m	10 h	7 h 30 m	5 h 33 m	5 h 30 m
Combustible					
Composition du combustible brut et humide — Humidité %	15	13,3	17,4	15,2	15,7
Cendres %	15,80	16,7	14,3	15	14,8
Carbone total %	54	54,6	56,8	54,4	57,7
Hydrogène %	4	4,1	3,9	4,1	4
Pouvoir calorifique inférieur du combustible brut et humide calories	5151	5177	5155	5122	5228
Charbon total consumé kg	37380	34528	32000	30689	36000
Charbon consumé par heure kg	2685	3466	4266	5535	6545
Allure des grilles kg:cm².h	76,2	98,3	121	157	185,7
Mâchefer					
Poids total recueilli au foyer kg	5630	5350	4640	4585	5411
Proportion de carbone imbrûlé rapporté au poids de charbon brûlé %	1,4	1,6	1,4	1,5	1,9
Air comburant					
Température à la prise d'air °C	29	31	33	29,5	33
Pression de soufflage mm	39,8	41,2	54,2	61	67
Gaz de Combustion					
Température à la sortie de l'économiseur °C	168	173	181	194	207,5
Proportion de CO^2 à la sortie de l'économiseur %	8,2	9,9	10,5	11,5	12,6
Dépression au foyer mm	—1,4	—1	—2	—2	—2
Dépression à la sortie de la chaudière mm	—9	—11,2	—17,5	—22	—29
Dépression à la sortie de l'économiseur mm	—12,7	—14,7	—22	—29	—36

NUMÉRO DE L'ÉSSAI	1	2	3	4	5
Eau d'alimentation					
Température à l'entrée de l'économiseur . . °C	39	44	41	42,7	40,3
Température à l'entrée de la chaudière . . . . °C	125	122	122	115	119
Poids injecté total . . . . . kg	209500	197190	182467	175250	205180
Poids injecté par heure . . . . . kg	15055	19780	24329	31560	37305
POIDS INJECTÉ PAR HEURE ET MÈTRE CARRÉ DE SURFACE DE CHAUFFE . kg	**16,46**	**21,62**	**26,59**	**34,50**	**40,77**
Vapeur					
Pression moyenne effective . . . . . kg:cm²	19,1	18,8	19,9	20,3	19,4
Température vapeur surchauffée . . . . . °C	391	399	398	394	397
Chaleur totale de 1 kg de vapeur . . . . calories	773	778	777	775	777
Chaleur fournie à 1 kg de vapeur . . . . calories	734	734	736	732	737
Vaporisation rapportée au combustible brut humide dans les conditions de l'essai . . . kg	5,610	5,710	5,702	5,710	5,699
En vapeur de 640 calories . . . . . kg	6,430	6,545	6,560	6,530	6,558
Bilan calorifique					
Chaleur utilisée :					
a) dans la chaudière . . . . . %	60,1	60,9	61,3	62,3	60,6
b) dans le surchauffeur . . . . . %	10,9	11,6	11,3	11,3	11,1
c) dans l'économiseur . . . . . %	9,0	8,4	8,8	8,0	8,6
RENDEMENT DE L'ENSEMBLE . . . %	**80,0**	**80,9**	**81,4**	**81,6**	**80,3**
Pertes					
a) par imbrûlés dans les mâchefers . . . . %	2,2	2,6	2,2	2,4	2,9
b) par chaleur sensible des fumées . . . . %	10,9	9,0	9,8	9,4	9,6
c) par imbrûlés gazeux . . . . . %	—	—	1,2	1,1	2,5
d) par rayonnement et pour balance . . . %	6,9	7,5	5,4	5,5	4,7
	100,0	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**

Remarques. — Malgré le pouvoir calorifique très médiocre du combustible, à peine supérieur à 5000 cal:kg, le rendement global est très élevé et se maintient presque constant entre les allures de vaporisation de 16,46 kg:m².h (demi-charge) et 40,7 kg:m².h (marche maximum). Dans les mêmes limites, la température de surchauffe a été pratiquement constante (de 391 à 399 °).

2°) **Essais effectués du 13 au 15 Mars 1928 par l'Association Alsacienne des Propriétaires d'Appareils à Vapeur sur un générateur de 1000 m² timbré à 18 kg, à la Société Houillère de Sarre et Moselle (Station centrale du Puits V à Merlebach).**

CARACTÉRISTIQUES DE L'INSTALLATION

Chaudières

Timbre	18 kg
Surface de chauffe de la chaudière	1000 m²
Surface de chauffe de l'écran d'eau	37 m²
Surface du surchauffeur	275 m²
Surface de l'économiseur	850 m²

Foyer

Type	à charbon pulvérisé
Fournisseur	S. A. des Foyers Automatiques de Roubaix

	Date de l'essai	14-15 Mars 1928
	Début de l'essai	10,46 h
	Fin de l'essai	12,25 h
	Durée effective de l'essai	25h 40m = 25,66 h
Combustible	Provenance et désignation	Poussier sec de Sarre et Moselle
	Refus au tamis de 100 mailles par pouce linéaire anglais . . . %	8,7
	Pouvoir calorifique de la houille pure . . . . . calories	7746
	Pouvoir calorifique supérieur du combustible brut . . . calories	5703
	Pouvoir calorifique inférieur du combustible brut . . . calories	5466
	Teneur en humidité totale à 105° . . . . . %	2,6
	Teneur en cendres . . . . . %	23,8
	Teneur en matières volatiles (sur houille pure) . . . . . %	41,6
	Teneur en hydrogène . . . . . %	4,1
	Teneur en carbone . . . . . %	59,5
	Teneur en soufre, oxygène et azote . . . . . %	10,0
	Poids brûlé	
	a) pendant l'essai . . . . . kg	152 380
	b) par heure . . . . . kg	5941
Mâchefers et cendres folles	Poids des mâchefers, environ . . . . . kg	9000
	Teneur en carbone des mâchefers . . . . . %	0,2
	Cendres folles recueillies sous la chaudière et l'économiseur et au refoulement du ventilateur aspirant	
	Teneur en matières combustibles rapportée à 1 kg de combustible. %	0,82

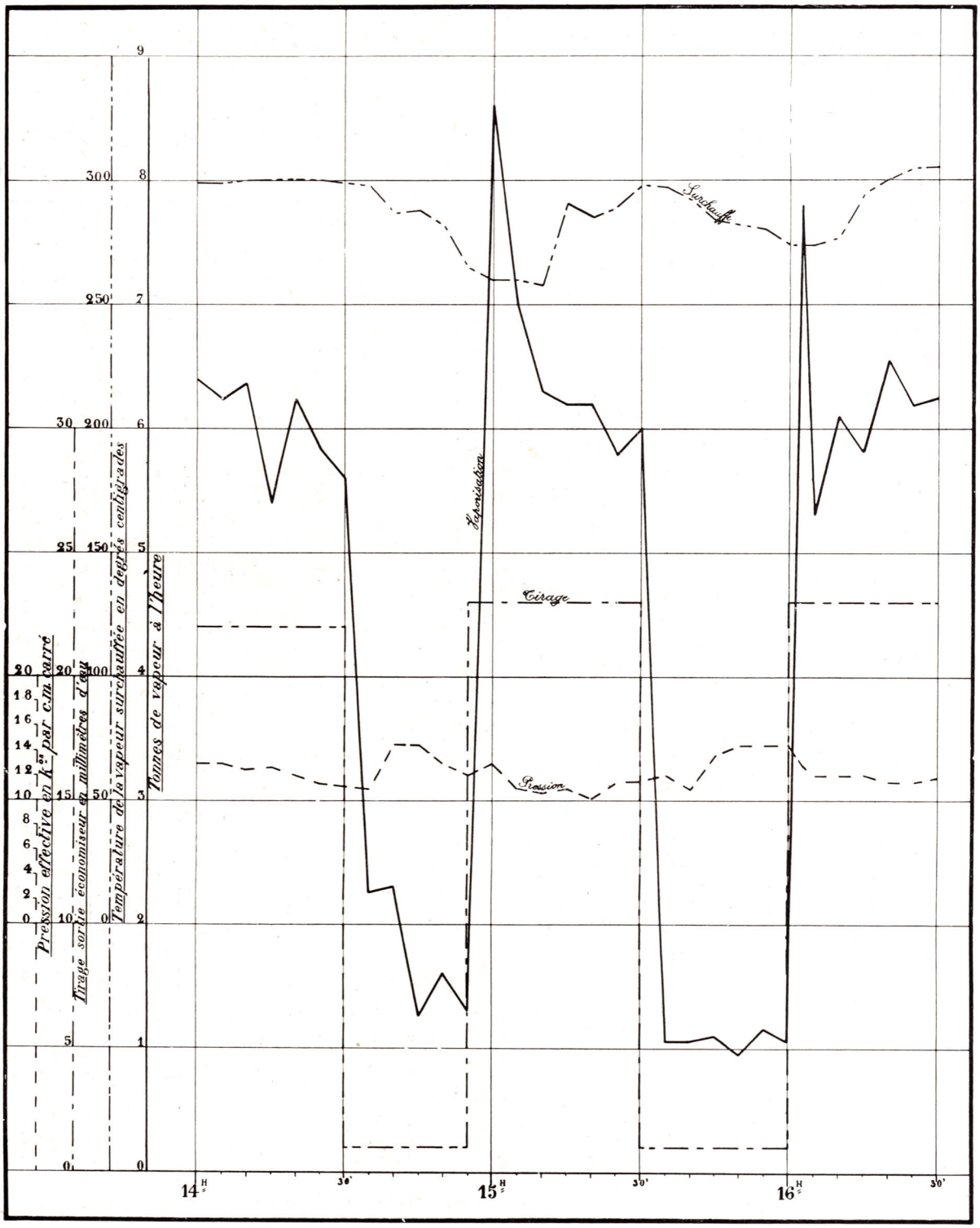
Gaz de la combustion	Composition entrée surchauffeur		
	Teneur en CO^2 moyenne	%	12,85
	Teneur en gaz combustibles	%	0,0
	Composition sortie chaudière		
	Teneur en CO^2 moyenne	%	11,25
	Teneur en gaz combustibles	%	0,0
	Sortie chaudière		
	Valeur moyenne	%	306
	Entrée au ventilateur aspirant		160
Air comburant	Température de l'air primaire à l'aspiration du ventilateur . . .	°C	13
	Pression statique moyenne dans les conduites d'air primaire des brûleurs	mm eau	300 environ
Dépressions	à l'entrée au faisceau tubulaire.	mm eau	9
	à l'entrée du surchauffeur, moyenne	mm eau	11
	à la sortie de la chaudière, moyenne		32
Eau	Quantité d'eau injectée pendant l'essai	m^3	1 037,421
	Quantité d'eau injectée par heure.	m^3	40,420
	Quantité d'eau injectée par heure et m^2 de surface de chaudière .	m^3	38,97
	Température à l'entrée à l'économiseur	°C	46
	Température à la sortie de l'économiseur, moyenne	°C	114,7
Vapeur	Pression dans la chaudière	$kg : cm^2$	13,8
	Température correspondante de saturation	°C	196,5
	Température de la vapeur surchauffée	°C	342
	Chaleur cédée à 1 kg d'eau ou de vapeur		
	a) dans l'économiseur	calories	68,7
	b) dans la chaudière	calories	555,6
	c) dans le surchauffeur	calories	80,4

Bilan de chaleur d'un kilogramme de combustible	Chaleur utilisée	calories	%
	a) dans la chaudière	3 782	66,4
	b) dans le surchauffeur	547	9,6
	c) dans l'économiseur	468	8,2
	Chaleur perdue	4 797	**84,2**
	a) dans les mâchefers	34	0,6
	b) dans les cendres folles		
	c) par chaleur sensible à la sortie de l'économiseur	630	11,0
	d) par chaleur latente	237	4,1
	e) par combustion incomplète des gaz	0	0
	f) par rayonnement et pour balance	5	0,1
	Pouvoir calorifique supérieur	5 703	100,0

Rendement thermique de l'ensemble de l'installation

a) rapporté au pouvoir calorifique supérieur	**84,2**	%
b) rapporté au pouvoir calorifique inférieur	**87,7**	%

Graphique de marche à allure variable d'un Générateur de Vapeur de 200 m² de surface de chauffe



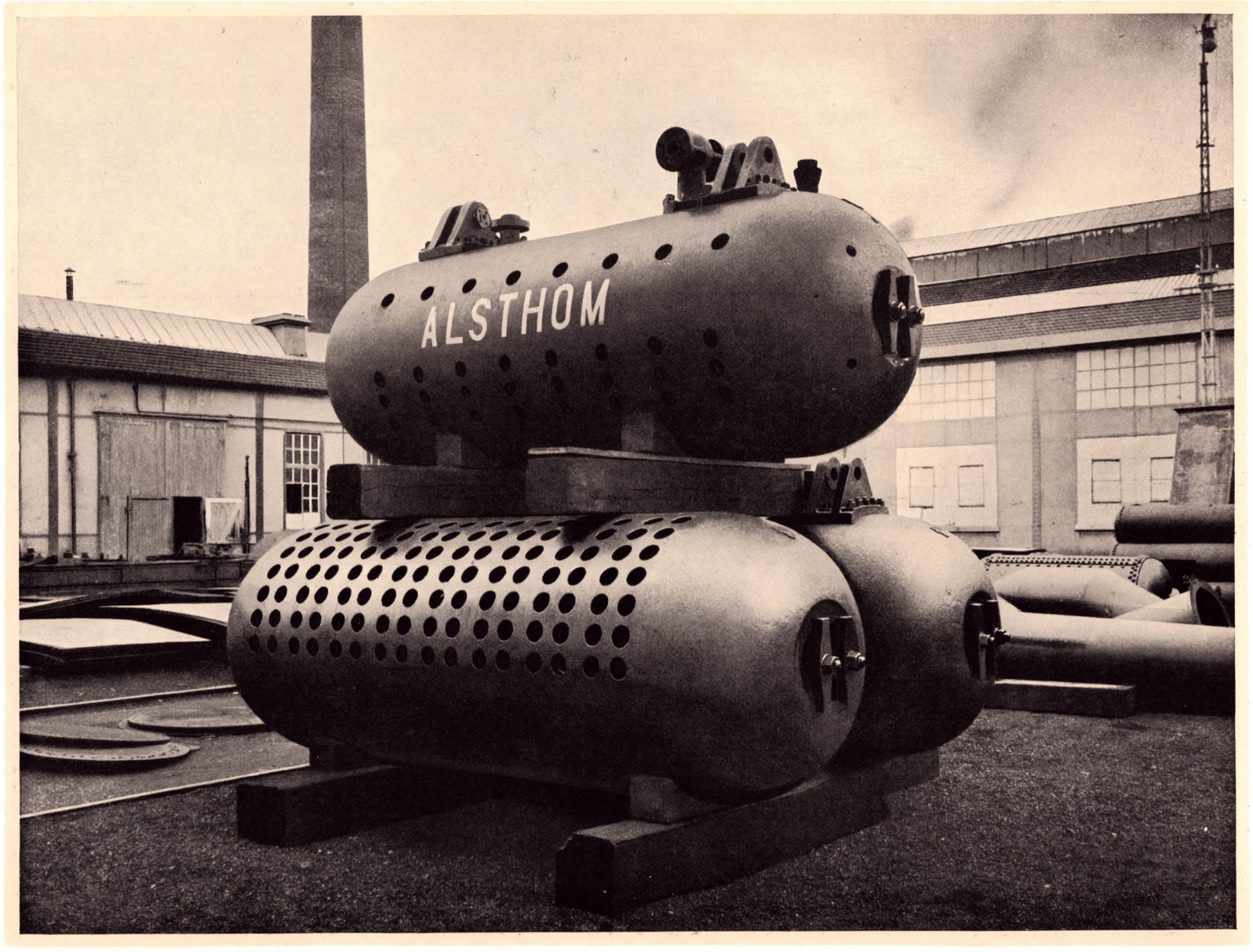


Fig. 19. — Réservoirs monoblocs forgés pour une chaudière de 300 m^2 timbrée à 56 kg.

IMPRIMERIE
ALSTHOM
BELFORT
N° 9191